



TUGAS AKHIR –TF 141581

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH H_2SO_4
BERDASARKAN REAKSI INVARIAN DENGAN METODE
FUZZY-PID PADA *CONTINUOUS STIRRED-TANK
REACTOR***

ZARWAN ZUHDI
NRP. 02311440000108

Dosen Pembimbing
Hendra Cordova, S.T.,M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT –TF 141581

***H₂SO₄ PH CONTROL SYSTEM DESIGN BASED ON
INVARIANT REACTION BY USING FUZZY-PID
METHOD FOR CONTINUOUS STIRRED-TANK
REACTOR***

ZARWAN ZUHDI
NRP. 02311440000108

Supervisor
Hendra Cordova, S.T.,M.T.

*DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018*

This Page intentionally Left Blank

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Zarwan Zuhdi

NRP : 02311440000108

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH H_2SO_4 BERDASARKAN REAKSI INVARIAN DENGAN METODE *FUZZY-PID* PADA *CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR* adalah bebas dari plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, Juli 2018

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'Z' followed by a vertical line and a horizontal stroke.

Zarwan Zuhdi

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH H_2SO_4 BERDASARKAN REAKSI INVARIAN DENGAN METODE FUZZY-PID PADA *CONTINUOUS STIRRED-TANK* *REACTOR*

TUGAS AKHIR

Oleh:

Zarwan Zuhdi

NRP : 0231144000108

Surabaya, 24 Juli 2018

Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I



Hendra Cordova, S.T., M.T.

NIPN. 196905301994121001

Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D

NIPN. 197809022003121002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH H₂SO₄ BERDASARKAN REAKSI INVARIAN DENGAN METODE FUZZY-PID PADA *CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar sarjana Teknik
pada



Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ZARWAN ZUHDI

NRP. 02311440000108

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | | |
|---|---|-----------------|
| 1. Hendra Cordova S.T., M.T. | ...  ... | (Pembimbing 1) |
| 2. Totok Rulki Biyanto S.T., M.T., Ph.D | ...  ... | (Ketua Penguji) |
| 3. Ir. Matradji, M.Sc. | ...  ... | (Penguji 1) |
| 4. Ir. Sarwono, M.M. | ...  ... | (Penguji 2) |

SURABAYA

Juli, 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH H₂SO₄
BERDASARKAN REAKSI INVARIAN DENGAN METODE
FUZZY-PID PADA *CONTINUOUS STIRRED-TANK
REACTOR***

Nama Mahasiswa	: ZARWAN ZUHDI
NRP	: 02311440000108
Departemen	: Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing	: Hendra Cordova, S.T.,M.T.

ABSTRAK

Salah satu cara menghilangkan kadar H₂S dari gas alam adalah dengan pembakaran. Gas sisa dari pembakaran ini masih memberi dampak negatif terhadap lingkungan, salah satunya yaitu SO₂. Larutan asam H₂SO₄ yang masuk ke CSTR bersifat asam sehingga pH larutan tersebut harus dikendalikan menjadi basa agar aman dibuang ke lingkungan. Pengendalian pH menggunakan dua pemodelan yaitu statik dan dinamik. Agar sistem pengendalian mencapai *set point* pH sebesar 7,5 digunakan metode *Fuzzy-PID*. Berdasarkan hasil dari simulasi menggunakan MATLAB-SIMULINK, pengendali PID biasa pada uji *set point* mendapatkan *settling time* 48,787 detik dan *Integral Absolute Error* 25,77. Untuk pengendali *Fuzzy-PID* didapatkan *settling time* 46,735 detik dan *Integral Absolute Error* 24,77. Sehingga disimpulkan pengendali *Fuzzy-PID* menghasilkan respon yang lebih baik.

Kata kunci: CSTR, *Fuzzy-PID*, pH, H₂SO₄

Halaman ini sengaja dikosongkan

**H₂SO₄ PH CONTROL SYSTEM DESIGN BASED ON
INVARIANT REACTION BY USING FUZZY-PID METHOD
FOR CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR**

Name	: ZARWAN ZUHDI
NRP	: 02311440000108
Departement	: Engineering Physics FTI-ITS
Supervisor	: Hendra Cordova, S.T.,M.T.

ABSTRACT

One from many way to remove H₂S from natural gas is by combustion. The residual gas from this combustion still gives negative impact to the environment, one of them is SO₂. H₂SO₄ acid solution into the CSTR is acidic so that the pH of the solution must be controlled to be a base for safe discharge into the environment. PH control uses two static and dynamic modeling. In order for the control system to reach the set point pH of 7.5 used Fuzzy-PID method. Based on the result of simulation using MATLAB-SIMULINK, the usual PID controller on set point test get settling time 48,787 seconds and Integral Absolute Error 25.77. For the Fuzzy-PID controller the settling time is 46,735 seconds and the Integral Absolute Error 24.77. So it is concluded that Fuzzy-PID controller produces better response.

Keywords : CSTR, Fuzzy-PID, pH, H₂SO₄

This Page Intentionally Left Blank

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kehadiran Allah SWT atas berkah, rahmat, dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN PH H₂SO₄ BERDASARKAN REAKSI INVARIAN DENGAN METODE FUZZY-PID PADA CONTINUOUS STIRRED-TANK REACTOR”** sebagai persyaratan akademik yang harus dipenuhi untuk kelulusan dalam Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika ITS. Untuk itu penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Hendra Cordova, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing penulis yang telah memberi sangat banyak dukungan, ilmu, dan bimbingan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Bapak Totok Ruki B, S.T., M.T., Ph.D selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Instrumetasi dan Kontrol
4. Keluarga saya tercinta, Ayah, Mamak, dan adik-adik saya atas doa dan motivasi yang selalu diberikan di saat saya senang maupun sedih.
5. Dosen dan Staf karyawan Teknik Fisika ITS atas segala keikhlasan dan kebaikan selama penulis merampungkan proses studi hingga penulisan Laporan Tugas Akhir.
6. Kepada Haziratul Qudsiah untuk segalanya yang tidak bisa penulis ucapkan.
7. Teman saya Debbi Triambodo, teman satu bimbingan, atas dukungan dan masalah yang telah diberikan selama pengerjaan Tugas Akhir
8. Babe jali kantin Teknik Fisika atas segala nasehat dan pelajaran hidup.

9. Teman seperantauan saya dari Aceh, semoga kita bisa kembali membangun Aceh dan Indonesia.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat berterimakasih atas segala kritik dan saran yang membangun dari pembaca, dan bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.

Demikian laporan ini penulis buat, semoga laporan ini memberi mafaat bagi diri penulis sendiri dan pembaca sekalian.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
<i>PAGE TITLE</i>	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Titrasi Asam Basa	5
2.2 Pemodelan Reaksi pH	7
2.3 Pengendali PID.....	7
2.3.1 <i>Tuning PID metode Ziegler-Nichols</i>	9
2.4 Konsep Dasar Logika Fuzzy	11
2.5 <i>Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)</i>	14

2.6	<i>Wet scrubber</i>	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		19
3.1.	Perhitungan Larutan Asam yang Masuk ke Reaktor ...	20
3.2.	Pemodelan Dinamik Proses pada CSTR.....	21
3.3.	Pemodelan Statik Reaksi H_2SO_4 dan $NaOH$	22
3.4.	Pemodelan <i>Control Valve</i>	24
3.5.	Pemodelan pH <i>Transmitter</i>	26
3.6.	Simulasi Sistem Pengendali.....	27
3.5.1	Uji <i>Open Loop</i>	27
3.5.2	Uji <i>Closed Loop</i>	28
3.7.	Perancangan Logika <i>fuzzy</i>	28
3.8.	<i>Perancangan Rule Base</i>	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		37
4.1	Hasil Pemodelan dan Simulasi <i>Open Loop</i>	37
4.2	Hasil Simulasi <i>Closed loop</i>	38
4.3	Pembahasan	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		43
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran	43
DAFTAR PUSTAKA.....		49
LAMPIRAN		53
LAMPIRAN A. DATA PLANT		53
LAMPIRAN B. PEMODELAN STATIK DAN DINAMIK ..		58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva Titration Asam Lemah dan Basa Kuat[9]	6
Gambar 2.2 Kurva Titration Asam dan Basa Kuat[9]	6
Gambar 2.3 Sistem <i>Closed Loop</i> dengan <i>Controller</i> [10]	8
Gambar 2.4 Respon Unit Step dari Plant[10]	9
Gambar 2.5 Kurva S[10].....	9
Gambar 2.6 Respon Osilasi dengan Periode Pcr[10].....	10
Gambar 2.7 Fungsi Linier.....	12
Gambar 2.8 Fungsi Segitiga.....	12
Gambar 2.9 Fungsi Trapezium.....	13
Gambar 2.10 CSTR Dengan Satu Masukan[13].....	14
Gambar 2.11 CSTR dengan Dua Masukan[13]	15
Gambar 2.12 <i>Spray Tower</i> [14]	17
Gambar 2.13 <i>Venturi Tower</i> [14].....	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 3.2 Kestimbangan di <i>SO₂ Scrubber</i>	20
Gambar 3.3 Pemodelan Dinamik.....	22
Gambar 3.4 Uji <i>Open Loop</i>	27
Gambar 3.5 Uji <i>Closed Loop</i>	28
Gambar 3.6 Rancangan Input Output Fuzzy.....	29
Gambar 3.7 <i>Membership Function Input Error</i>	29
Gambar 3.8 <i>Membership Function Input Delta Error</i>	30
Gambar 3.9 <i>Membership Function Output K_p</i>	31
Gambar 3.10 <i>Membership Function Output T_i</i>	31
Gambar 3.11 <i>Membership Function Output T_d</i>	32
Gambar 3.12 <i>Surface Viewer Output K_p</i>	34
Gambar 3.13 <i>Surface Viewer Output T_i</i>	34
Gambar 3.14 <i>Surface Viewer Output T_d</i>	35
Gambar 3.15 <i>Rule Viewer</i>	35

Gambar 4.1 Kurva Titrasi dari Pemodelan Dinamik	37
Gambar 4.2 Respon pH Simulasi Open Loop	38
Gambar 4.3 Respon Closed Loop PID	39
Gambar 4.4 Respon Closed Loop Fuzzy-PID	39
Gambar 4.5 Respon <i>Fuzzy</i> -PID Terhadap <i>Tracking</i> pH Naik..	40
Gambar 4.6 Respon <i>Fuzzy</i> -PID Terhadap <i>Tracking</i> pH Turun..	40
.....	41
Gambar 4.7 Respon PID Terhadap <i>Tracking</i> pH Naik	41
Gambar 4.8 Respon PID Terhadap <i>Tracking</i> pH Turun	41
Gambar 4.9 Respon <i>Fuzzy</i> -PID Terhadap <i>Disturbance Flow</i> Asam Turun	42
Gambar 4.10 Respon <i>Fuzzy</i> -PID Terhadap <i>Disturbance Flow</i> Asam Naik	43
Gambar 4.11 Respon PID Terhadap <i>Disturbance Flow</i> Asam Turun	43
Gambar 4.12 Respon PID Terhadap <i>Disturbance Flow</i> Asam Naik	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Aturan Dasar Metode Pertama Pada Tuning Ziegler-Nichols	10
Tabel 2.2 Aturan dasar Metode Kedua Pada Tuning Ziegler-Nichols	11
Tabel 3.1 Rule Base Untuk Parameter K_p	32
Tabel 3.2 Rule Base Untuk Parameter T_i	33
Tabel 3.3 Rule Base Untuk Parameter T_d	33
Tabel 4.1 Perbandingan Karakteristik Respon Kedua Pengendali	45

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada gas alam terdapat banyak campuran gas lain yang menjadi pengotor, salah satunya yaitu gas H_2S (Hidrogen Sulfida)[1]. Senyawa non-hidrokarbon ini korosif terhadap logam dan beracun yang tentunya berbahaya bagi makhluk hidup apabila menghirup gas H_2S dalam kadar yang banyak. Pada Industri migas, kadar H_2S dipisahkan dari gas alam untuk mendapatkan *sweet gas* yaitu gas alam dengan kandungan H_2S yang kurang dari 6 ppm [2,3]

Banyak metode yang dilakukan untuk mengurangi kadar H_2S dari gas alam, salah satu metode untuk mengurangi kadar H_2S dari gas alam yaitu dengan proses pembakaran. Pada proses pembakaran, H_2S akan dioksidasi sehingga jumlahnya akan berkurang menjadi di bawah 10 ppm. Hasil dari pembakaran tersebut juga akan membentuk gas-gas sisa lainnya seperti CO_x , dan SO_x [4]. Kadar gas sisa pembakaran seperti SO_2 yang banyak dibuang ke atmosfer tentunya berbahaya bagi lingkungan sekitar karena menyebabkan hujan asam setelah gas SO_2 bereaksi dengan udara dan uap air di atmosfer [5].

Salah satu cara untuk mengurangi emisi gas buang hasil pembakaran dikenal dengan *Flue Gas Desulfurization* (FGD). Tipe FGD yang paling banyak dipakai adalah *wet scrubber* karena memiliki efisiensi di atas 90% [6]. Gas SO_2 yang bereaksi dengan H_2O dan O_2 akan menghasilkan senyawa H_2SO_4 yang bersifat asam. Senyawa H_2SO_4 yang masih bersifat asam ini selanjutnya akan di atur dengan pH control di *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) dengan penambahan NaOH untuk mencapai pH *set point* yang

ditentukan. Oleh karena itu, diperlukan perancangan sistem pengendalian untuk mengendalikan pH pada reaksi pencampuran tersebut. Salah satu cara merancang sistem pengendalian tersebut adalah menggunakan pengendali dengan *Fuzzy-PID*.

Pada logika *fuzzy* bekerja dengan prinsip berpikir manusia dalam menilai suatu keputusan dan biasanya diterapkan dalam pengambilan keputusan pada masalah yang mengandung unsur ketidakpastian. Struktur pada logika tersebut pada umumnya terdiri dari fuzzifikasi, *rule base*, *decision maker*, dan defuzzifikasi [7].

Pada penelitian ini dilakukan perancangan untuk sistem pengendalian pH dari campuran larutan asam H_2SO_4 dan basa NaOH dengan metode *Fuzzy-PID*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan, maka didapatkan permasalahan dalam tugas akhir ini, yaitu:

- a. Bagaimana melakukan pemodelan matematis pada reaksi pencampuran H_2SO_4 dan NaOH dari *output wet scrubber* berdasarkan metode reaksi invarian ?
- b. Bagaimana merancang suatu sistem pengendalian pengendali pH H_2SO_4 dengan tangki reaktor CSTR ?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Mendapatkan pemodelan matematis pada reaksi pencampuran H_2SO_4 dan NaOH berdasarkan reaksi invarian.
- b. Mendapatkan rancangan sistem pengendalian pH pada CSTR.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Plant yang digunakan adalah CSTR
- b. Tidak ada pengaruh suhu
- c. Tidak ada pengaruh level
- d. Nilai *set point* pH adalah 7.5

Halaman ini sengaja dikosongkan

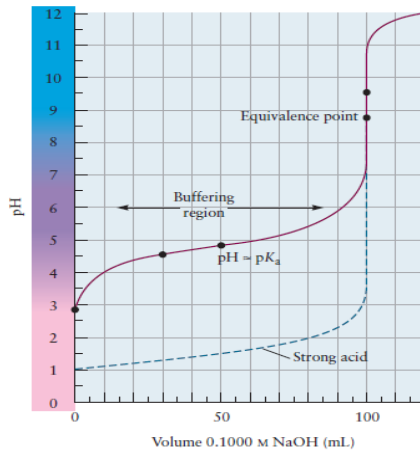
BAB II

DASAR TEORI

2.1 Titrasi Asam Basa

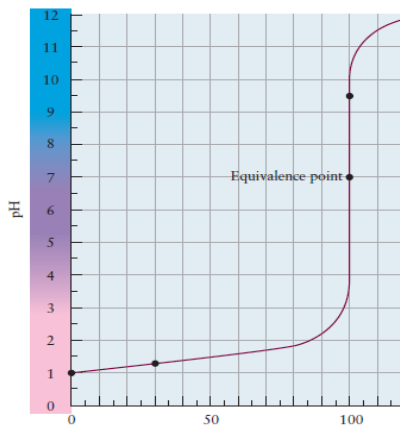
Titration merupakan salah satu metode yang paling mudah digunakan pada studi kuantitatif dari penetralan asam basa. Pada metode titration, *standard solution* yaitu larutan yang diketahui konsentrasinya secara pasti ditambahkan secara bertahap ke larutan lain yang konsentrasinya belum diketahui. Untuk mendapatkan nilai konsentrasi dari larutan yang konsentrasinya tidak diketahui tersebut, mulanya harus diketahui dahulu volume kedua larutan tersebut[8].

Pada proses titration, tentunya diperlukan kurva titration yang menunjukkan nilai pH sebagai fungsi perubahan konsentrasi asam dan basa. Nilai pH yang akan didapatkan ditentukan oleh penambahan jumlah volume asam atau volume larutan basa. Secara teoritis, diperlukan pengetahuan tentang konstanta kesetimbangan dari ketentuan sifat asam atau basa tersebut dan konsentrasi total asam basa yang didapatkan dengan cara perhitungan stoikiometri tepat[3]. Berikut ini merupakan contoh kurva titration asam basa [9]:



Gambar 2.1 Kurva Titrasi Asam Lemah dan Basa Kuat[9]

Pada kurva reaksi titrasi asam lemah dan basa kuat pada gambar 2.1, titik ekivalen didapatkan berada pada daerah pH 8-9. Sedangkan perubahan pH yang drastis terjadi berada pada daerah pH 7-11.

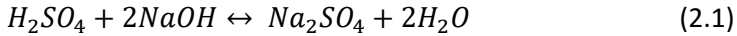


Gambar 2.2 Kurva Titrasi Asam dan Basa Kuat[9]

Pada kurva titrasi asam dan basa kuat pada gambar 2.2, titik ekivalen didapatkan berada pada pH 7. Sedangkan perubahan pH yang drastis terjadi pada pH 4-10.

2.2 Pemodelan Reaksi pH

Pada pemodelan reaksi pH, terjadi dua pemodelan yaitu dinamik dan statik dari reaksi pencampuran H_2SO_4 dan $NaOH$



Untuk persamaan pemodelan dinamiknya adalah sebagai berikut:

$$V \frac{dW}{dt} = qa(Wi - Wa) + qb(Wi - W) \quad (2.3)$$

Dimana:

W = Reaksi Invariant (Molar)

qa = Flow Asam ($\frac{Ltr}{s}$)

qb = Flow Basa ($\frac{Ltr}{s}$)

V = Volume (Ltr)

Untuk persamaan pemodelan statiknya adalah sebagai berikut:

$$W_a = [H^+] - [OH^-] - [HSO_4^-] - SO_4^{2-} \quad (2.4)$$

$$W_b = [H_2SO_4] + [HSO_4^-] + [SO_4^-] \quad (2.5)$$

2.3 Pengendali PID

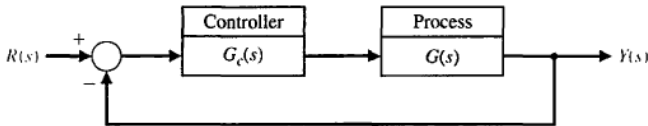
Pengendali yang paling banyak dan penggunaannya paling luas digunakan di industri yang memiliki unit proses merupakan pengendali PID [10]. Pengendali ini mempunyai tiga parameter yaitu *Proportional* (K_p), *Integral* (K_i), dan *Derivative*

(K_d). Pengendali tersebut mempunyai fungsi transfer sebagai berikut [11]:

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (2.6)$$

$$K_I = \frac{K_p}{T_I} \quad (2.7)$$

$$K_D = K_p \times T_D \quad (2.8)$$



Gambar 2.3 Sistem Closed Loop dengan Controller[10]

Sedangkan persamaan untuk *output* pada domain waktu adalah sebagai berikut:

$$u(t) = K_p e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2.9)$$

Dimana:

K_p = *Proportional Gain*

K_I = *Integral Gain*

K_D = *Derivative Gain*

T_I = *Integral Time*

T_D = *Derivative Time*

$e(t)$ = *Error Function*

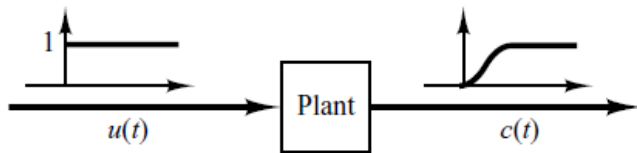
Untuk merancang pengendali PID dibutuhkan proses *tuning* untuk mendapatkan nilai dari parameter-parameter PID. Salah satu metode *tuning* yaitu metode *Ziegler-Nichols* [10].

2.3.1 Tuning PID metode Ziegler-Nichols

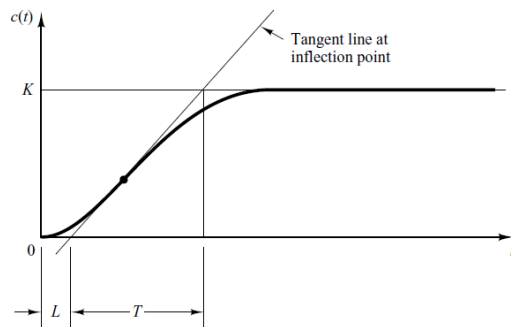
Metode *Ziegler-Nichols* terbagi atas dua metode yang disebut aturan *tuning* Ziegler-Nichols [10]. Berikut kedua metode tersebut:

a. Metode Pertama

Pada metode pertama, *input* dari *plant* berupa unit *step* dan respon dari *plant* berupa kurva S. Kurva tersebut dikarakterisasi menjadi dua konstanta, yaitu L sebagai *delay time* dan T sebagai *time constant* [10].



Gambar 2.4 Respon Unit Step dari Plant[10]



Gambar 2.5 Kurva S[10]

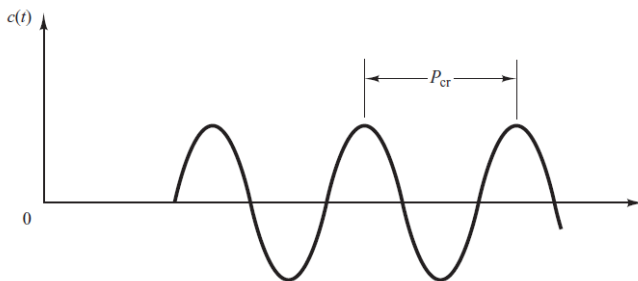
Tabel 2.1 Aturan Dasar Metode Pertama Pada *Tuning Ziegler-Nichols*

Tipe Pengendali	K_p	T_i	T_d
P	T/L	\sim	0
PI	$0,9 T/L$	$L/0,3$	0
PID	$1,2T/L$	$2L$	$0,5L$

Dari tabel 2.1 terdapat nilai-nilai parameter pengendali yang ingin dipakai. Lalu nilai-nilai tersebut dimasukkan ke persamaan (x).

b. Metode Kedua

Pada metode kedua, di atur nilai $T_i = \sim$ dan $T_d = 0$ sehingga yang diapakai hanya K_p . Nilai K_p dinaikkan dari 0 sampai didapatkan K_{cr} atau *critical gain* yang akan menghasilkan respon berupa osilasi dengan periode P_{cr} [10].

**Gambar 2.6** Respon Osilasi dengan Periode P_{cr} [10]

Tabel 2.2 Aturan dasar Metode Kedua Pada *Tuning Ziegler-Nichols*

Tipe Pengendali	Kp	Ti	Td
P	0,5Kcr	~	0
PI	0,45Kcr	1/1,2Pcr	0
PID	0,6 Kcr	0,5Pcr	0,125Pcr

Fungsi tabel 2.2 sama dengan tabel 2.1 yaitu untuk mendapatkan nilai parameter dari pengendali yang ingin dipakai.

2.4 Konsep Dasar Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* dikembangkan pertama kali oleh *Lotfi A. Zadeh* melalui tulisannya yang berjudul *Fuzzy Sets* pada tahun 1965. Logika *fuzzy* berbeda dengan logika konvensional atau disebut juga logika *crisp* yang hanya bernilai benar atau salah (0 atau 1). Logika ini mengandung unsur ketidakpastian atau kesamaran karena dikembangkan berdasarkan bahasa manusia. Sehingga nilai keanggotaan dari himpunan *fuzzy* dinyatakan dengan derajat keanggotaan yang nilainya terletak antara 0 sampai 1 [7]

Derajat keanggotaan ditentukan dengan fungsi keanggotaan

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1] \quad (2.5)$$

Arti dari derajat keanggotaan

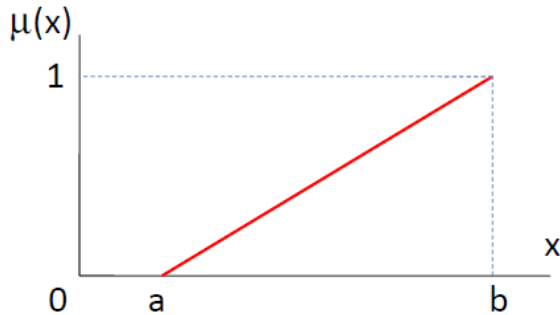
$$\mu_{A(x)} = 1, \text{ maka } x \text{ adalah anggota penuh himpunan } A$$

$\mu_{A(x)} = 0$, maka x bukan anggota himpunan A

$\mu_{A(x)} = \mu$, dengan $0 < \mu < 1$, maka x adalah anggota himpunan A dengan derajat keanggotaan sebesar μ

Adapun fungsi keanggotaan yang biasanya dipakai adalah sebagai berikut:

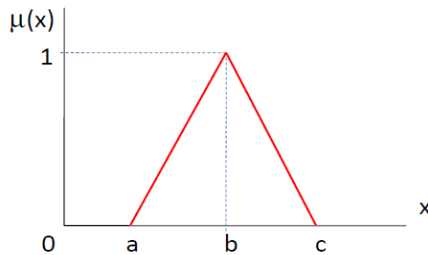
a. Linier



Gambar 2.7 Fungsi Linier

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & x \geq b \end{cases} \quad (2.6)$$

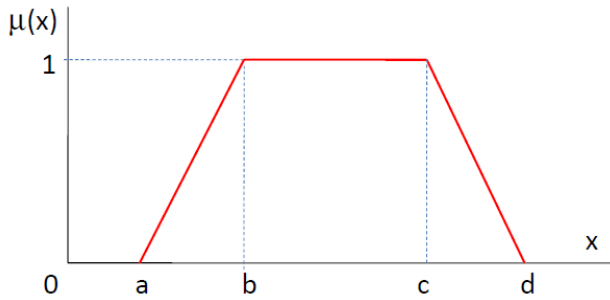
b. Segitiga



Gambar 2.8 Fungsi Segitiga

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ (b-x)/(c-b), & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (2.7)$$

c. Trapesium



Gambar 2.9 Fungsi Trapesium

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ (d-x)/(d-c), & x \geq d \end{cases} \quad (2.8)$$

Struktur logika *fuzzy* adalah sebagai berikut:

- a. Fuzzifikasi
Bertujuan untuk merubah sinyal yang bersifat *crisp* ke dalam himpunan *fuzzy*
- b. *Rule Base*
Berisi aturan dasar yang mendefinisikan himpunan *fuzzy* terhadap masukan dan

keluaran, lalu menyusunnya ke dalam perangkat aturan kontrol

c. *Decision Maker*

Bagian ini mempunyai kemampuan seperti manusia dalam mengambil keputusan

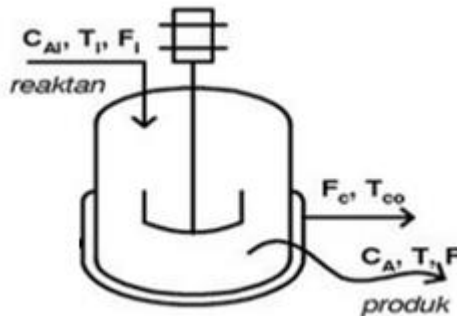
d. Defuzzifikasi

Menyimpulkan *fuzzy* menjadi sinyal *crisp*

2.5 Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)

CSTR adalah sebuah bejana berbentuk tabung dengan kapasitas volume tertentu. Bejana ini bisa mempunyai bentuk terbuka atau terisolasi. Pada bejana ini terjadi proses mekanik berupa pengadukan (*stirred*) dan berlangsung secara kontinu yang diharapkan akan menghasilkan distribusi sifat fisis dan kimiawi secara merata pada zat yang direaksikan di dalam reaktor berupa penguraian atau pembentukan. Reaksi yang terjadi pada bejana ini bisa berupa reaksi satu arah atau reaksi bolak balik [12].

Pada bejana ini tentunya dibutuhkan sebuah pemodelan matematis untuk menghubungkan keluaran dan masukan proses untuk menghasilkan produk yang diinginkan [13].



Gambar 2.10 CSTR Dengan Satu Masukan [13]

Menggunakan prinsip kekekalan massa total, maka kesetimbangan massa total yang akan diperoleh [13].

$$\frac{[\text{Total massa terakumulasi}]}{\text{waktu}} = \frac{[\text{Total massa input}]}{\text{waktu}} - \frac{[\text{Total massa output}]}{\text{waktu}} \pm \frac{[\text{Total massa dibangkitkan}]}{\text{waktu}} \quad (2.9)$$

Atau

$$\frac{d(\rho V)}{dt} = \rho_i F_i - \rho F \pm 0 \quad (2.10)$$

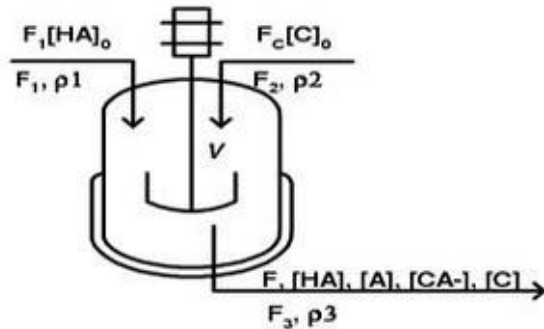
Dengan

ρ_i, ρ = kerapatan larutan masukan dan keluaran (kg/m^3)

F_i, F = laju aliran (volumetric) masukan dan keluaran (m^3/s)

V = Volume tangki (m^3)

Bila terdapat dua masukan maka



Gambar 2.11 CSTR dengan Dua Masukan[13]

Maka persamaan matematisnya sebagai berikut:

$$\frac{d(\rho_3 V)}{dt} = (\rho_1 F_1 + \rho_2 F_2) - \rho_3 F_3 \quad (2.11)$$

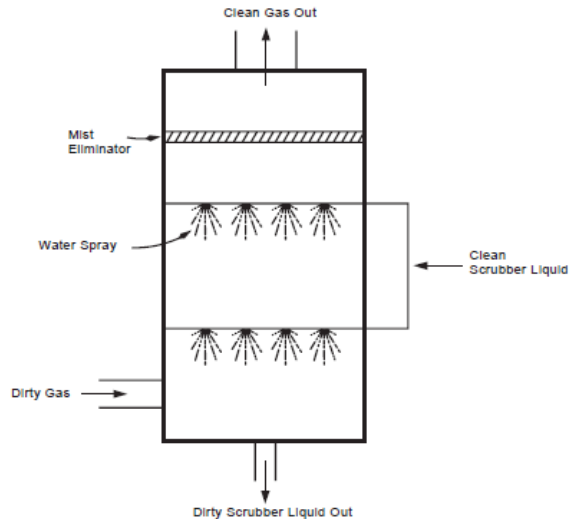
2.6 *Wet scrubber*

Wet Scrubber merupakan suatu alat yang mengontrol polusi udara yang menghilangkan *particulate matter* (PM) dan *acid gas* dari aliran gas limbah. Polutan dihilangkan dengan cara difusi, intersepsi, atau *absorpsi* polutan ke tetesan *liquid* yang kemudian dikumpulkan lalu dibuang. Efisiensi penyerapan gas bergantung pada ukuran partikel *liquid* dan ukuran partikel gas.

Dibandingkan *electrostatic precipitator* (ESP), *wet scrubber* mempunyai biaya yang lebih murah dan biaya pemeliharaan yang sebanding. *Wet scrubber* sangat berguna untuk menghilangkan PM yang bersifat korosif, *explosive*, partikel yang susah dihilangkan ketika dalam keadaan kering, dan *waste gas* dengan kandungan uap yang besar. Ada berbagai macam tipe *wet scrubber* sebagai berikut[14]:

a. *Spray Tower*

Bentuk *scrubber* yang paling simpel adalah *spray tower*. Prinsip kerja dari *spray tower* ini mempertemukan gas dan *liquid* yang disemprotkan melalui *nozzles*. Gas dialirkan berlawanan dengan *liquid*, searah, atau berpotongan. Aliran gas masuk melalui bawah *scrubber* dan mengalir keatas. *Liquid* disemprotkan ke bawah untuk menangkap partikel-partikel gas.



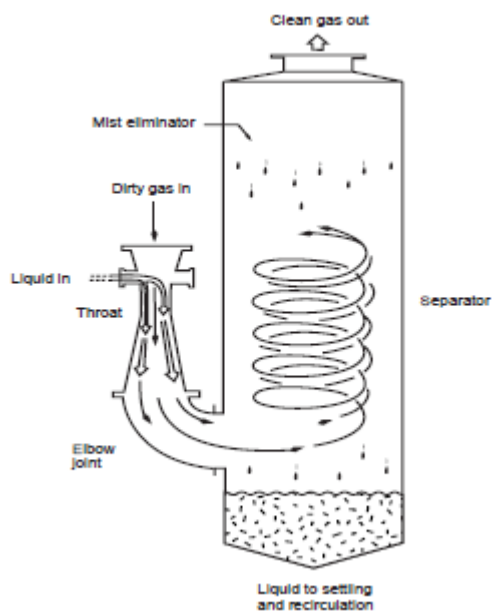
Gambar 2.12 Spray Tower[14]

b. *Tray Tower*

Tray Tower memiliki susunan *tray* di bagian dalam tabungnya. Gas masuk dari bawah *tower* naik ke atas melewati celah-celah *tray*, dan *scrubbing liquid* mengalir ke bawah melewati setiap *tray*. Proses tersebut mengakibatkan gas dan *liquid* bercampur.

c. *Venturi Scrubber*

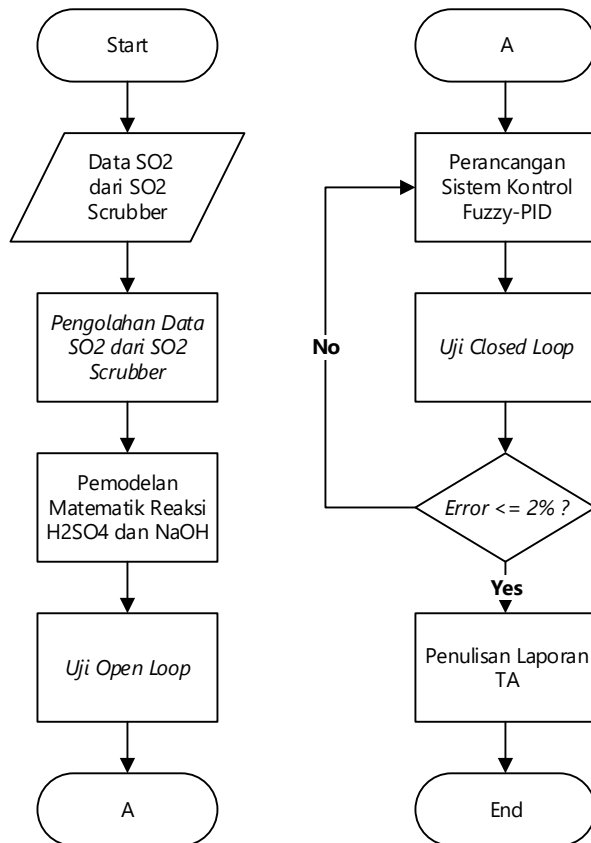
Venturi Scrubber mempunyai bagian *converging*, yaitu sebuah bagian yang menyempit dan *diffuser*. Gas mengalir melalui bagian *converging* tersebut untuk mencapai kecepatan tertinggi lalu masuk ke daerah *diffuser* untuk menurunkan kecepatan. Saat masuk ke daerah *diffuser* aliran *liquid* diatuhkan untuk terjadi pencampuran antara gas dan *liquid*.



Gambar 2.13 Venturi Tower[14]

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada BAB III ini akan dijelaskan rancangan tugas akhir dengan beberapa tahapan yang digambarkan pada diagram alir di bawah ini. Tahapan berikut meliputi beberapa hal, yaitu:

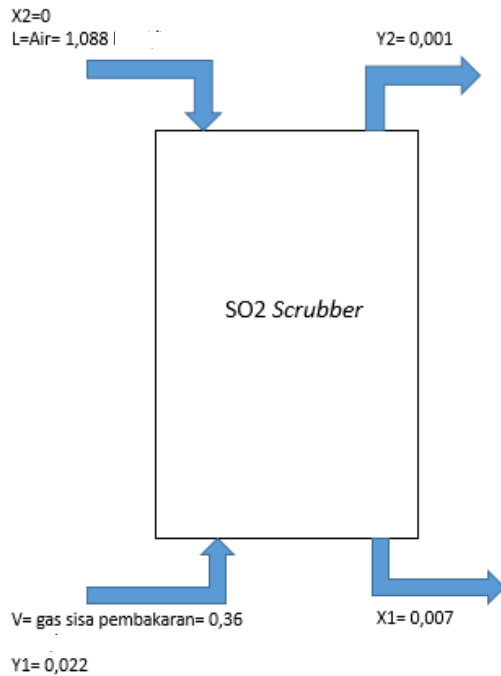


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1. Perhitungan Larutan Asam yang Masuk ke Reaktor

Pada perhitungan berikut digunakan prinsip kesetimbangan massa dan perhitungan fraksi gas SO₂ yang diserap dan yang terlarut untuk menghitung berapa larutan asam yang keluar dari SO₂ scrubber dan masuk ke reaktor.

$$V \left(\frac{Y_1}{1-Y_1} - \frac{Y_2}{1-Y_2} \right) = L \left(\frac{X_1}{1-X_1} - \frac{X_2}{1-X_2} \right) \quad (3.1)$$



Gambar 3.2 Kesetimbangan di SO₂ Scrubber

Dari perhitungan tersebut didapatkan fraksi mol larutan asam sebesar 0,7 % dari larutan total yang keluar.

3.2. Pemodelan Dinamik Proses pada CSTR

Proses pencampuran H_2SO_4 dan $NaOH$ di CSTR, terdapat dua aliran input dan satu aliran output. Aliran input flow dan konsentrasi terdiri dari aliran asam (yang berpengaruh) dan aliran basa (titrasi) seperti yang ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$V \frac{dW_a}{dt} = q_a(W_{a1} - W_a) + q_b(W_{a2} - W_a) \quad (3.2)$$

$$V \frac{dW_b}{dt} = q_a(W_{b1} - W_b) + q_b(W_{b2} - W_b) \quad (3.3)$$

Dimana :

q_a : Flow asam (L/s)

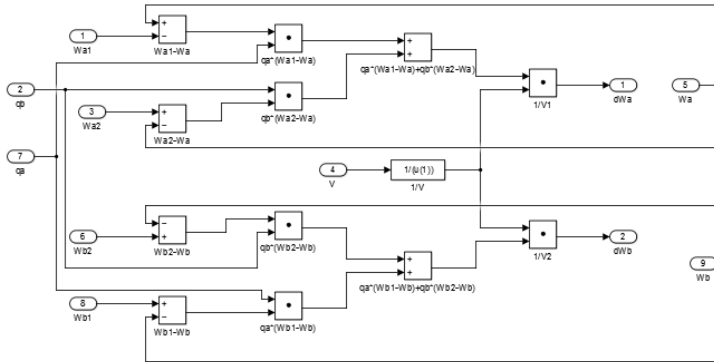
q_b : Flow basa (L/s)

W_a : Reaksi invariant asam (Molar)

W_b : Reaksi invariant basa (Molar)

V : Volume (L)

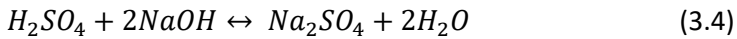
Lalu persamaan (3.1) dan (3.2) dimodelkan dengan *simulink*, sehingga didapatkan pemodelan dinamik sebagai berikut:



Gambar 3.3 Pemodelan Dinamik

3.3. Pemodelan Statik Reaksi H_2SO_4 dan $NaOH$

Berikut adalah pemodelan statik reaksi pencampuran antara H_2SO_4 dan $NaOH$:



Dari persamaan diatas, maka reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$K_{a1} = \frac{[HSO_4^{2-}][H^+]}{[H_2SO_4]} \quad (3.6)$$

$$K_{a2} = \frac{[SO_4^{2-}][H^+]}{[HSO_4^{2-}]} \quad (3.7)$$

Diketahui:

$$K_{a1} = 1 \times 10^{-7}$$

$$K_{a2} = 1 \times 10^{-14}$$

Sehingga untuk perhitungan konsentrasi ion H^+ komponen H_2SO_4

$$[H^+] = \sqrt{K_{a1} \cdot [H_2SO_4]} \quad (3.8)$$

$$[H^+] = \sqrt{K_{a1} \cdot 0,000037}$$

$$[H^+] = [HSO_4^-] = 0,00384$$

Komponen HSO_4^-

$$[H^+] = \sqrt{K_{a2} \cdot [HSO_4^-]} \quad (3.9)$$

$$[H^+] = \sqrt{K_{a2} \cdot 0,00384}$$

$$[H^+] = [SO_4^{2-}] = 0,007$$

$$W_a = [H^+] - [OH^-] - [HSO_4^-] - SO_4^{2-} \quad (3.10)$$

$$W_b = [H_2SO_4] + [HSO_4^-] + [SO_4^{2-}] \quad (3.11)$$

$$x_b \left(\frac{\frac{K_{a1}}{[H^+]} + \frac{2K_{a1} \cdot K_{a2}}{[H^+]^2}}{1 + \frac{K_{a1}}{[H^+]} + \frac{K_{a1} \cdot K_{a2}}{[H^+]^2}} \right) [H^+] + x_a [H^+] + K_w - [H^+]^2 \quad (3.12)$$

$$x_b \cdot K_{a1} + x_b \frac{2K_{a1} \cdot K_{a2}}{[H^+]} + x_a [H^+] + x_a \cdot K_{a1} + x_a \frac{K_{a1} \cdot K_{a2}}{[H^+]} + K_w + \frac{K_{a1} \cdot K_w}{[H^+]} + \frac{K_{a1} \cdot K_{a2} \cdot K_w}{[H^+]^2} - [H^+]^2 - K_{a1} \cdot [H^+] - K_{a1} \cdot K_{a2} = 0 \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} x_b \cdot K_{a1} + x_b \frac{2K_{a1} \cdot K_{a2}}{[H^+]} + x_a [H^+] + x_a \cdot K_{a1} + x_a \frac{K_{a1} \cdot K_{a2}}{[H^+]} + K_w \\ + \frac{K_{a1} \cdot K_w}{[H^+]} + \frac{K_{a1} \cdot K_{a2} \cdot K_w}{[H^+]^2} - [H^+]^2 - K_{a1} \\ \cdot [H^+] - K_{a1} \cdot K_{a2} = 0 \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned}
& x_b K_{a1} [H^+]^2 + x_b 2K_{a1} \cdot K_{a2} [H^+] + x_a [H^+]^3 + x_a K_{a1} [H^+]^2 \\
& + x_a K_{a1} \cdot K_{a2} [H^+] + K_w [H^+]^2 + K_w K_{a1} [H^+] \\
& + K_w K_{a1} K_{a2} - [H^+]^4 - K_{a1} [H^+]^3 \\
& - K_{a1} K_{a2} [H^+]^2 = 0
\end{aligned} \tag{3.15}$$

$$\begin{aligned}
& [H^+]^4 + (K_{a1} - x_a) [H^+]^3 \\
& + (K_{a1} K_{a2} - K_{a1} x_a - K_{a1} x_b - K_w) [H^+]^2 \\
& + (-K_{a1} K_{a2} x_a - 2K_{a1} K_{a2} x_b - K_w K_{a1}) [H^+] \\
& - K_w K_{a1} K_{a2} = 0
\end{aligned} \tag{3.16}$$

Konsentrasi ion hidrogen $[H^+]$ dari penyelesaian persamaan (3.11) dapat digunakan untuk mengetahui proses statik dari *plant*. Proses statik *plant* didefinisikan sebagai :

$$pH = -\log[H^+] \tag{3.17}$$

Setelah membahas tentang persamaan statik dimana dari persamaan statik tersebut akan didapatkan konsentrasi ion H^+ yang kemudian digunakan untuk mencari harga pH melalui fungsi logaritma.

Lalu pemodelan tersebut dimasukkan ke *Matlab function* berupa kodingan yang akan dilampirkan pada lampiran.

3.4. Pemodelan *Control Valve*

Untuk mengatur aliran fluida input NaOH ke dalam tangki reaktor, digunakan *control valve* jenis linier. Pada I/P *converter* sebagai penerima input sinyal elektrik 4-20 mA di ubah menjadi sinyal pneumatik 3-15 psi yang berfungsi mengatur berapa besar valve akan terbuka 0-100%. Fungsi transfer untuk *control valve* dinyatakan dengan sebuah sistem orde satu sebagai berikut:

$$\frac{MV(s)}{U(s)} = \frac{K_{total}}{\tau_{cv}s + 1} \tag{3.18}$$

Dimana:

$MV(s)$ = *Manipulated Variable* (L/s)

K_{total} = Gain total *control valve*

$U(s)$ = Sinyal masukan ke *control valve* (mA)

τ_{cv} = *Time Constant control valve*

Untuk menentukan gain total dari *control valve*, digunakan persamaan berikut ini:

$$K_{total} = K_{I/P} \times K_{act} \quad (3.19)$$

$$K_{I/P} = \frac{\text{Span Sinyal Pneumatik}}{\text{Span Sinyal Elektrik}} \quad (3.20)$$

$$K_{act} = \frac{\text{Flow maximum}}{\text{Span Sinyal pneumatik}} \quad (3.21)$$

Dimana:

$K_{I/P}$ = Gain I/P *positioner CV*

K_{act} = Gain *actuator CV*

Span sinyal *pneumatik* = 12 psi

Span sinyal elektrik = 16 mA

Pada tugas akhir ini, *flow maximum* yang akan digunakan adalah 19,64 L/s, yang mengacu pada penelitian sebelumnya. Sehingga didapatkan nilai K_{total} sebagai berikut:

$$K_{act} = \frac{d}{d(x)} f(x) \frac{\text{Flow Max}}{\text{Span Tekanan}} \quad (3.22)$$

$$K_{act} = y = \frac{1}{12} \text{Flow max} * x - \frac{1}{4} \text{flow max} \quad (3.23)$$

$$K_{I/P} = \frac{\text{Span Tekanan}}{\text{Span Sinyal Pengendali}} = \frac{12}{16} = 0.75 \quad (3.24)$$

$$K_{total} = 0.75 \left(\frac{1}{12} \text{flow max} * X - \frac{1}{4} \text{flow max} \right) \quad (3.25)$$

X adalah sinyal elektrik 4-20 mA

Untuk mencari nilai *time constant* digunakan persamaan sebagai berikut

$$\tau_{cv} = \tau(\Delta V + R) \quad (3.26)$$

Dimana:

τ = *Time Stroke*

ΔV = Fraksi perubahan posisi stem

R = Konstanta perubahan waktu inherent pada *stroking time*

Mengacu pada penelitian sebelumnya nilai fraksi perubahan bernilai 1, untuk *time stroke* 1,733, dan konstanta perubahan waktu inherent bernilai 0,03. Didapatkan nilai *time constant* sebagai berikut:

$$\tau_{cv} = 1.733(1 + 0.03) = 1.79 \quad (3.27)$$

Maka fungsi transfer dari *control valve* tersebut adalah sebagai berikut:

$$\frac{MV(s)}{U(s)} = \frac{0.75(\frac{1}{12} * 19.64 * X - \frac{1}{4} * 19.64)}{1.79s + 1} \quad (3.28)$$

3.5. Pemodelan pH Transmitter

Transmitter pH berupa elektroda yang merubah konsentrasi ion hidrogen menjadi sinyal pengukuran dengan range 0-14 dengan sinyal keluaran 4-20 mA. Persamaan fungsi transfer untuk pH transmitter adalah sebagai berikut:

$$G_{pH} = \frac{K_{pH}}{\tau(s) + 1} \quad (3.29)$$

Dengan gain K_{pH} adalah sebagai berikut

$$K_{pH} = \frac{\text{span sinyal keluaran}}{\text{span variabel pengukuran}} \quad (3.30)$$

$$K_{pH} = \frac{20\text{mA}-4\text{mA}}{14-0} = \frac{16}{14} = \frac{8}{7} \quad (3.31)$$

Akan tetapi karena nilai *time constant* sangat kecil $\ll 0$, maka nilai *transfer function* untuk pH transmitter bernilai 1

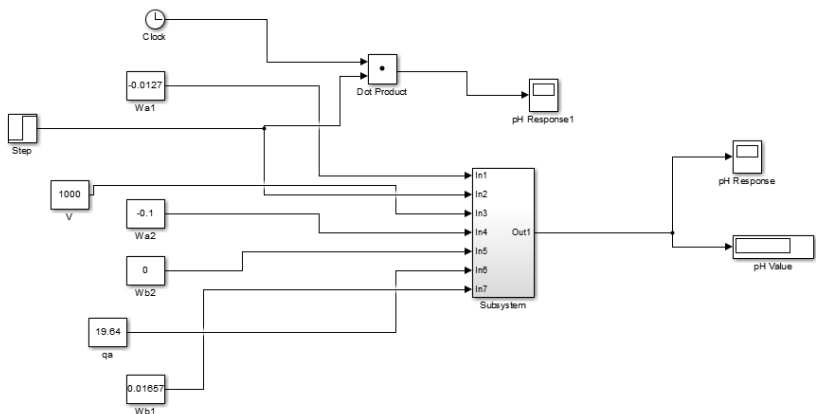
$$G_{pH} = 1 \quad (3.32)$$

3.6. Simulasi Sistem Pengendali

Pada simulasi sistem yang telah dirancang, dilakukan simulasi pada dua keadaan yaitu simulasi *open loop* dan *closed loop*

3.5.1 Uji Open Loop

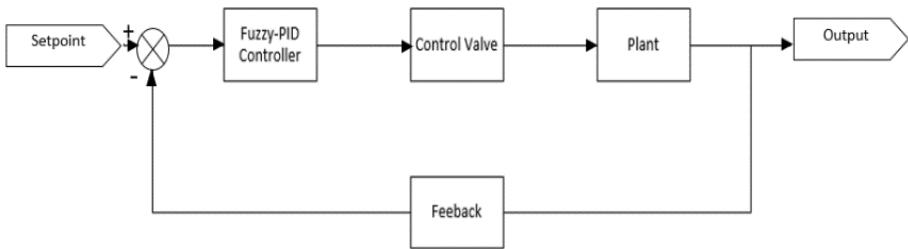
Uji *open loop* untuk melihat kondisi respon sistem dinamik saat diberi masukan berupa *flow* NaOH dan H₂SO₄ dan keluaran berupa nilai pH dari reaksi dua senyawa tersebut.



Gambar 3.4 Uji *Open Loop*

3.5.2 Uji *Closed Loop*

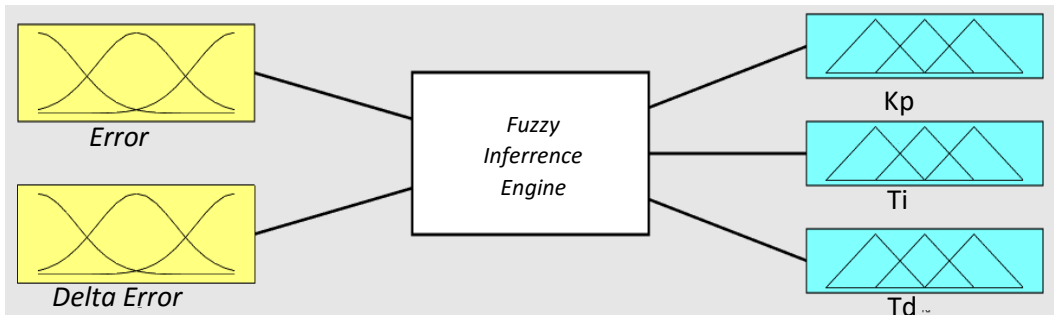
Pada simulasi *closed loop* dilakukan untuk melihat respon sistem saat sudah diberikan *control valve*, *transmitter*, dan *controller fuzzy* untuk mengolah *error* dari *set point* yang diberikan. Berikut pemodelan *closed loop* yang disimulasikan pada MATLAB *simulink* (lihat lampiran B3) dengan rangkaian blok seperti gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 Uji *Closed Loop*

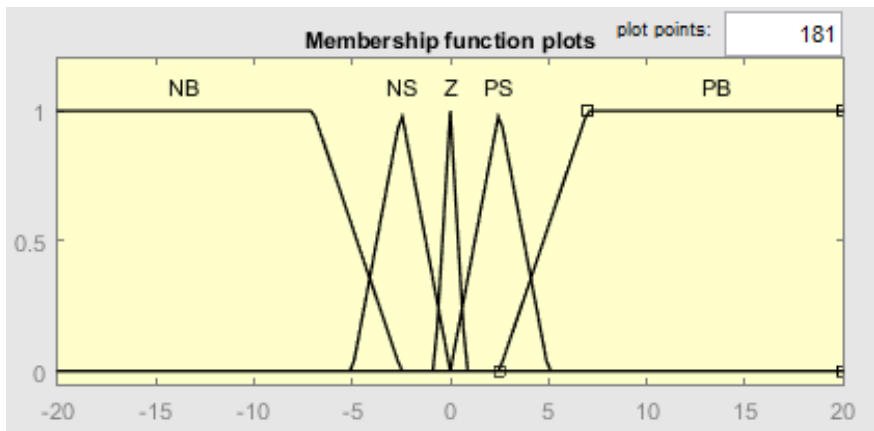
3.7. Perancangan Logika *fuzzy*

Pada pengendali yang di rancang, logika fuzzy berfungsi untuk menentukan nilai parameter PID agar sistem berjalan dengan baik dan mencapai *set point* yang diinginkan. Parameter PID yang didapatkan dari hasil *tuning* PID dengan metode *Ziegler-Nichols* untuk sistem ini yaitu $K_p=45$ $T_i=0,004507$ dan $T_d= 0,001127$

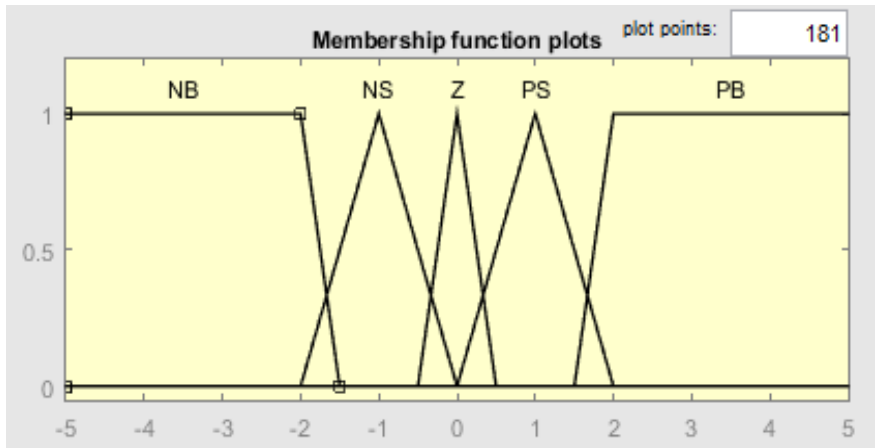


Gambar 3.6 Rancangan *Input Output Fuzzy*

Pada rancangan logika *fuzzy* yang telah dibuat, digunakan 2 *input* berupa *error* dan *Delta error*, dan 3 *output* berupa Kp, Ti, dan Td.



Gambar 3.7 *Membership Function Input Error*

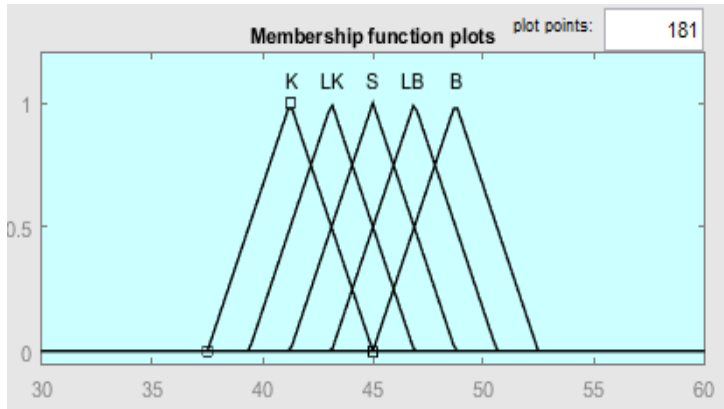


Gambar 3.8 Membership Function Input Delta Error

Pada perancangan *membership function input error* digunakan 2 fungsi trapesium dan 3 fungsi segitiga dengan *range* -20 sampai 20. Begitu juga dengan *membership function delta error* digunakan 2 fungsi trapesium dan 3 fungsi segitiga dengan *range* -5 sampai 5.

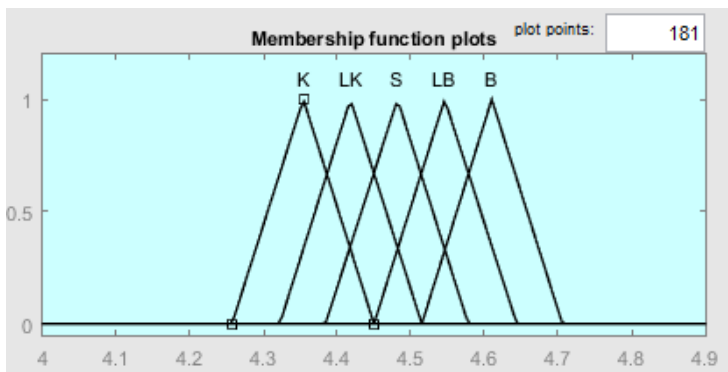
Untuk singkatan yang digunakan seperti NB adalah *Negative Big*, NS adalah *Negative Small*, Z adalah *Zero*, PS adalah *Positive Small*, PB adalah *Positive Big*. Error negatif menandakan grafik respon di bawah *set point*, dan error positif menandakan grafik respon di atas *set point*.

Setelah selesai perancangan untuk *input*, dilakukan perancangan untuk *output* berupa K_p , T_i , dan T_d . Berikut adalah hasil perancangan untuk mendapatkan nilai parameter K_p , T_i , dan T_d :



Gambar 3.9 *Membership Function Output Kp*

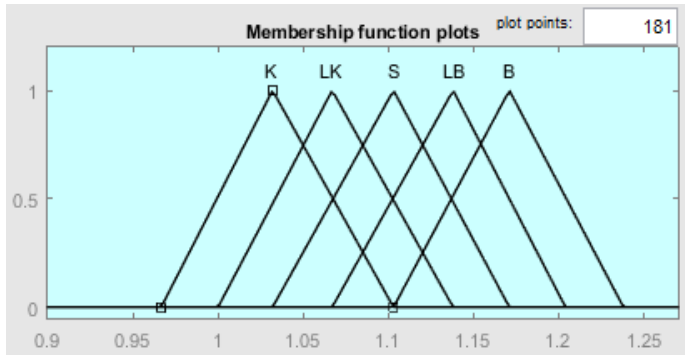
Pada gambar 3.9 dapat dilihat bahwa S berada di antara *range* 3.75 sampai dengan 6.75 sesuai dengan nilai Kp yang didapatkan sebesar 45.



Gambar 3.10 *Membership Function Output Ti*

Pada gambar 3.10 dapat dilihat bahwa S berada pada *range* 0.0885 sampai dengan 0.093 sesuai dengan nilai Ti yang berada

pada di nilai *range* tersebut. Begitu juga pada gambar 3.11, nilai S berada pada *range* nilai Td.



Gambar 3.11 Membership Function Output Td

3.8. Perancangan Rule Base

Rule Base merupakan sekumpulan aturan yang digunakan untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Perancangan *rule base* ini berfungsi sebagai alat untuk pengambilan keputusan dari *input* dan menghasilkan *output* yang sesuai pada rancangan logika *fuzzy* yang telah dirancang.

Tabel 3.1 Rule Base Untuk Parameter Kp

ΔE E	NB	NS	Z	PS	PB
NB	K	K	LK	K	K
NS	K	K	LK	K	K
Z	LK	LK	S	LK	LK
PS	B	B	LB	B	B
PB	B	B	LB	B	B

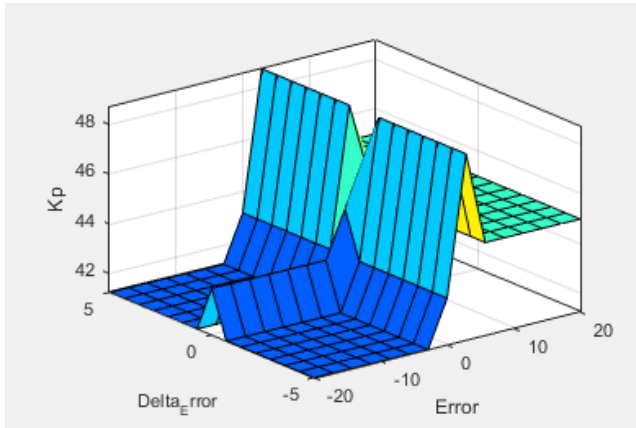
Tabel 3.2 Rule Base untuk Parameter T_i

ΔE E	NB	NS	Z	PS	PB
NB	K	K	LK	K	K
NS	K	K	LK	K	K
Z	LB	LB	S	LB	LB
PS	B	B	LB	B	B
PB	B	B	LB	B	B

Tabel 3.3 Rule Base untuk Parameter T_d

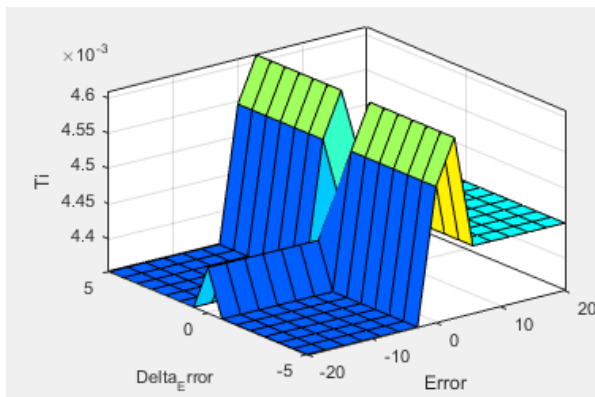
ΔE E	NB	NS	Z	PS	PB
NB	K	K	LK	K	K
NS	K	K	LK	K	K
Z	LK	LK	S	LK	LK
PS	B	B	LB	B	B
PB	B	B	LB	B	B

Pada gambar 3.12 terlihat *surface* bagaimana interaksi antara parameter K_p terhadap *input Error* dan *Delta Error*



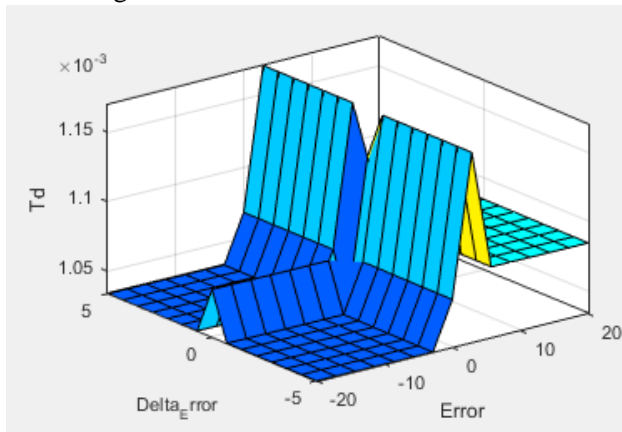
Gambar 3.12 *Surface Viewer Output K_p*

Pada gambar 3.13 terlihat *surface* bagaimana interaksi antara parameter T_i terhadap *input Error* dan *Delta Error*.

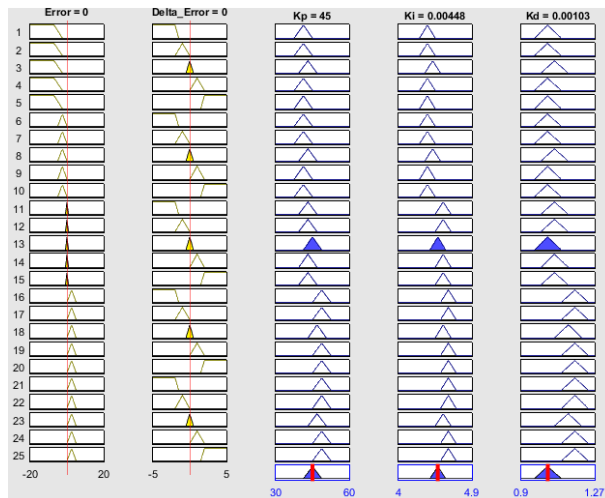


Gambar 3.13 *Surface Viewer Output T_i*

Pada gambar 3.14 terlihat *surface* bagaimana interaksi antara parameter T_d terhadap *input Error* dan *Delta Error* dan pada gambar 3.15 adalah hasil *rule* untuk logika *fuzzy* yang akan digunakan.



Gambar 3.14 *Surface Viewer Output Kd*



Gambar 3.15 *Rule Viewer*

Setelah struktur logika *fuzzy* di rancang, tahap selanjutnya adalah memodelkannya pada MATLAB *Simulink* untuk dijadikan struktur logika *Fuzzy-PID* seperti pada lampiran B3.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pemodelan dan Simulasi *Open Loop*

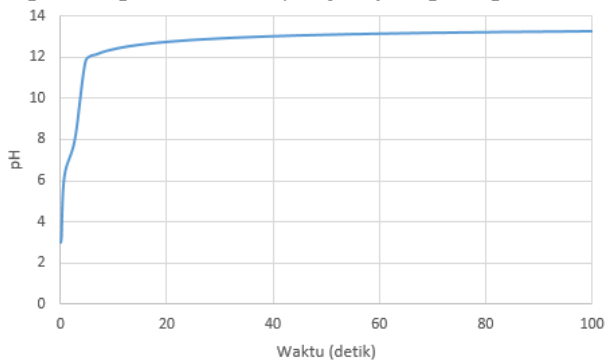
Dari pemodelan yang sudah dilakukan yaitu pemodelan statik dan dinamik.

$$V \frac{dW_a}{dt} = qa(Wa1 - Wa) + qb(Wa2 - Wa) \quad (4.1)$$

$$V \frac{dW_b}{dt} = qa(Wb1 - Wb) + qb(Wb2 - Wb) \quad (4.2)$$

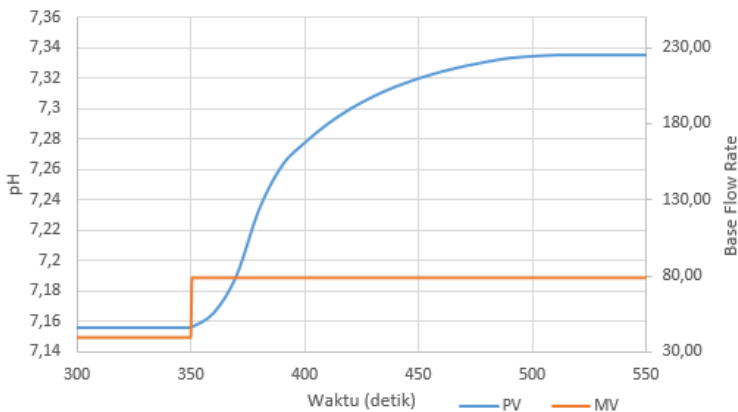
$$[H^+]^4 + (K_{a1} - x_a)[H^+]^3 + (K_{a1}K_{a2} - K_{a1}x_a - K_{a1}x_b - K_w)[H^+]^2 + (-K_{a1}K_{a2}x_a - 2K_{a1}K_{a2}x_b - K_wK_{a1})[H^+] - K_wK_{a1}K_{a2} = 0 \quad (4.3)$$

Pada persamaan (4.1) dan (4.2) merupakan proses dinamik pencampuran larutan yang terjadi pada plant. Dari persamaan dinamik tersebut dilihat respon *open loop*. Pada persamaan (4.3) merupakan pemodelan statik untuk mencari nilai pH dari reaksi pencampuran larutan yang terjadi pada plant.



Gambar 4.1 Kurva Titrasi dari Pemodelan Dinamik

Simulasi *Open Loop* dilakukan untuk melihat bagaimana respon plan saat belum diberi *controller*. Respon dari *Open Loop* ini juga bertujuan untuk dapat mencari nilai-nilai parameter untuk *controller* PID berupa parameter K_p , T_i , T_d . Sebelumnya didapatkan nilai *Time Constant* 26,39878 s dan nilai *Dead Time* 17,92 s. Pada gambar 4.1 didapatkan kurva titrasi untuk mengetahui pH terendah dan pH tertinggi dari sistem yang telah dimodelkan

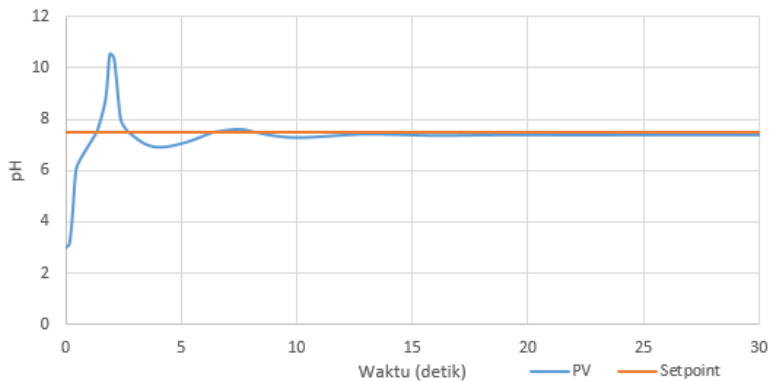


Gambar 4.2 Respon pH Simulasi *Open Loop*

4.2 Hasil Simulasi *Closed loop*

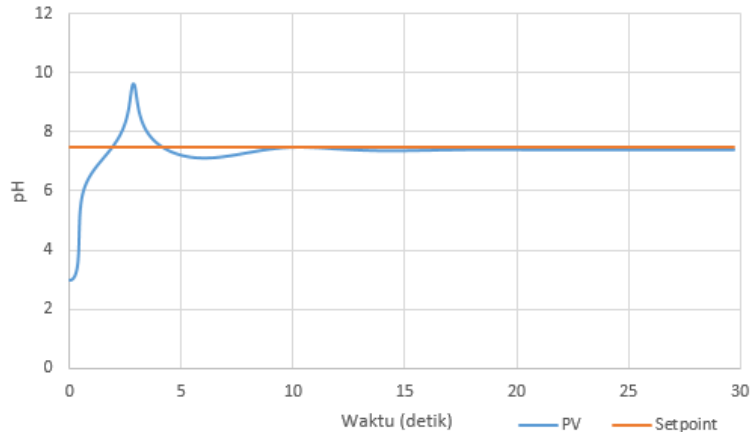
Pada simulasi *closed loop*, dilakukan berbagai macam variasi pengujian terhadap pengendali PID dan *Fuzzy*-PID. Berbagai macam variasi pengujian tersebut meliputi uji respon keadaan normal dan uji terhadap *disturbance* berupa gangguan pada *flow* asam yang masuk. Pengujian *Close Loop* ini bertujuan untuk melihat bagaimana kedua pengendali yaitu *Fuzzy*-PID dan pengendali PID dalam mencapai *setpoint*. Setelah didapatkan hasil uji tersebut, kemudian dibandingkan hasil kedua pengendali tersebut untuk melihat pengendali mana yang lebih baik.

Berikut perbandingan respon hasil uji *closed loop Fuzzy-PID* dan PID.



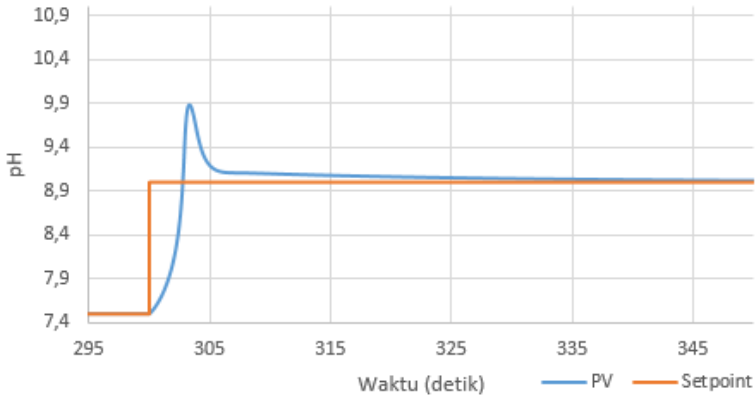
Gambar 4.3 Respon *Closed Loop PID*

Untuk hasil respon *closed loop Fuzzy-PID* sebagai berikut.



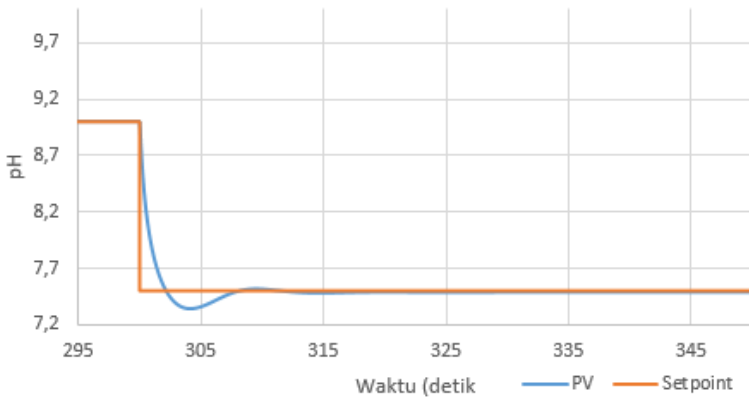
Gambar 4.4 Respon *Closed Loop Fuzzy-PID*

Pada simulasi *tracking*, diberikan perubahan nilai *set point* naik dan turun. *Set point* yang dipakai saat uji *tracking setpoint* naik yaitu 7,5-9 dan pada saat uji *tracking setpoint* turun yaitu 9-7,5. Tujuan dari uji *tracking* ini untuk melihat bagaimana respon sistem apabila terdapat perubahan *setpoint* secara tiba-tiba.

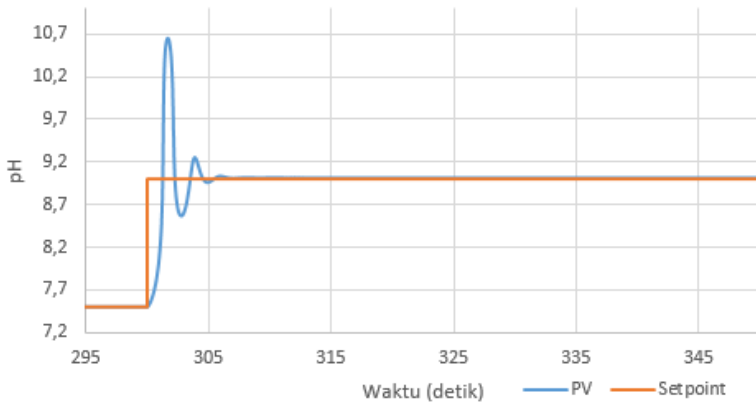


Gambar 4.5 Respon Fuzzy-PID Terhadap Tracking pH Naik

Pada gambar 4.5 merupakan *tracking setpoint* naik, lalu pada gambar 4.6 merupakan *tracking setpoint* turun.

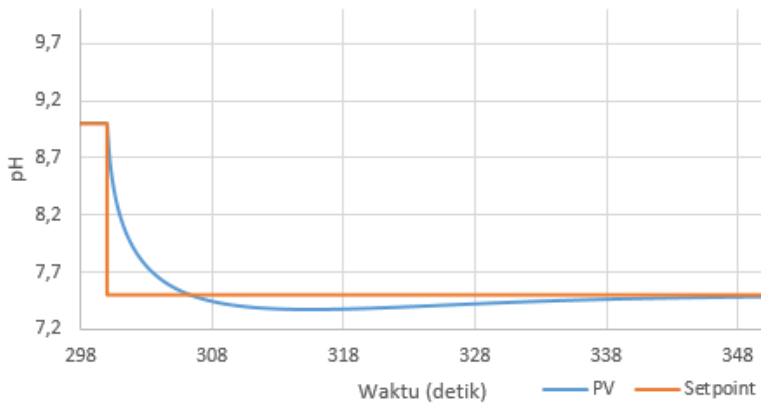


Gambar 4.6 Respon Fuzzy-PID Terhadap Tracking pH Turun



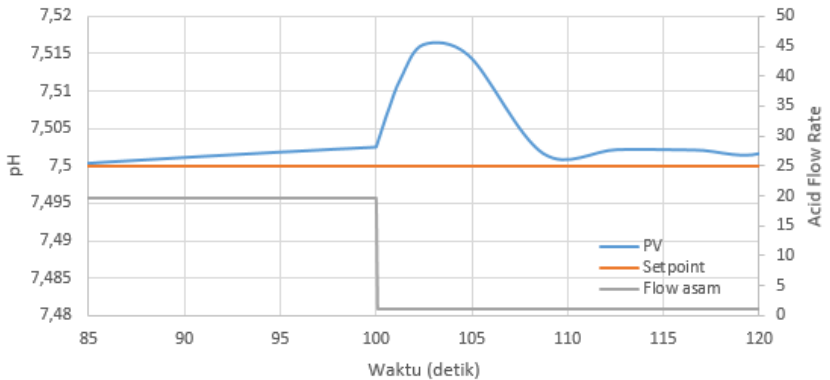
Gambar 4.7 Respon PID Terhadap *Tracking* pH Naik

Pada gambar 4.7 dan 4.8 merupakan respon PID terhadap *tracking setpoint* naik dari 7.5-9 dan *tracking setpoint* turun dari 9-7.5.



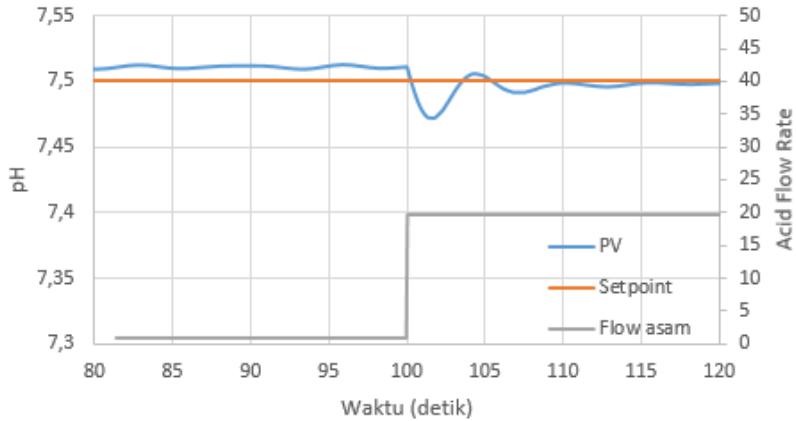
Gambar 4.8 Respon PID Terhadap *Tracking* pH Turun

Pada simulasi uji terhadap *disturbance*, diberikan perubahan nilai *flow* asam dengan nilai 19.64 ltr/s sampai nilai *flow* minimum 1 ltr/s. Pengujian ini bertujuan untuk melihat kestabilan sistem apabila diberi gangguan yang berupa perubahan nilai larutan asam.



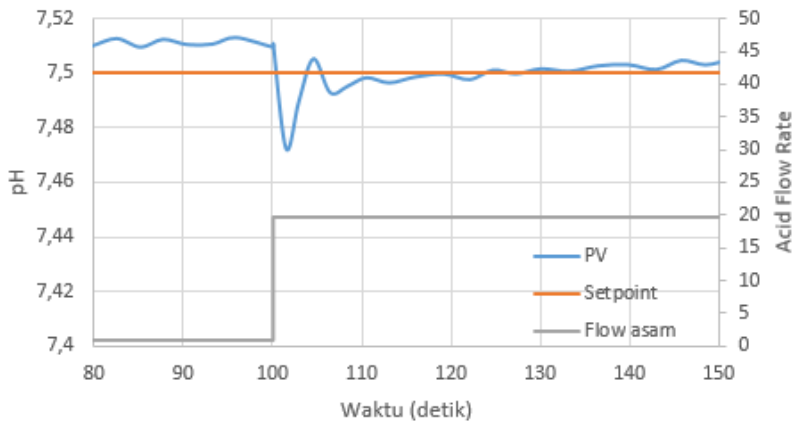
Gambar 4.9 Respon *Fuzzy-PID* Terhadap *Disturbance Flow Asam Turun*

Dari hasil uji *disturbance*, terlihat bahwa pengurangan nilai asam memberi pengaruh pada hasil uji dengan naiknya nilai pH menjadi lebih basa. Hal tersebut telah sesuai dengan teori rekasi asam-basa yaitu pengurangan nilai asam akan menjadikan suatu larutan lebih basa, dan begitu juga sebaliknya apabila yang terjadi pengurangan adalah larutan basa seperti pada gambar 4.6.



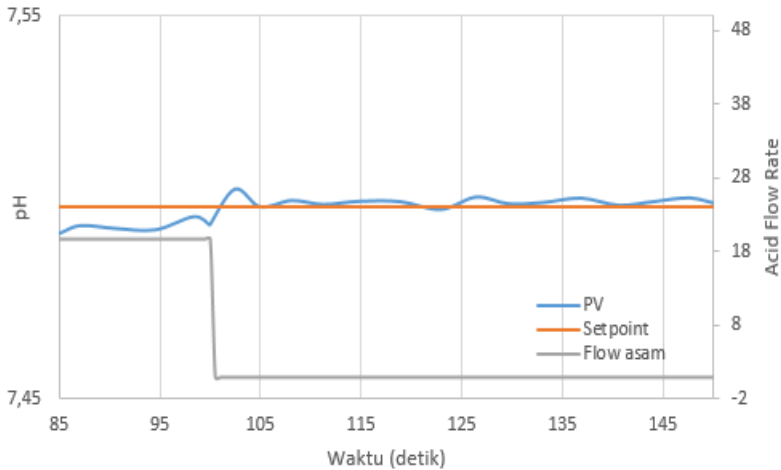
Gambar 4.10 Respon *Fuzzy*-PID Terhadap *Disturbance Flow Asam Naik*

Berikut adalah hasil pengujian untuk pengendali PID terhadap *disturbance* dengan *flow* asam turun dan *flow* asam naik.



Gambar 4.11 Respon PID Terhadap *Disturbance Flow* asam naik

Berikut merupakan respon uji PID terhadap *disturbance flow* asam turun.



Gambar 4.12 Respon PID Terhadap *Disturbance Flow* asam turun

Dari berbagai macam pengujian yang telah dilakukan, dibuat tabel perbandingan karakteristik yang dihasilkan dari dua pengendali PID dan *Fuzzy*-PID untuk mengetahui pengendali mana yang lebih baik untuk sistem yang telah dirancang seperti dibawah ini:

Tabel 4.1 Perbandingan Karakteristik Respon Kedua Pengendali

Simulasi	Karakteristik	Fuzzy-PID	PID
<i>Setpoint</i>	<i>IAE</i>	24,77	25,77
	<i>Max. Overshoot</i>	28,06%	40%
	<i>Settling Time</i>	46,73 s	48,78 s
	<i>pH</i>	7,41	7,4
<i>Tracking Naik</i>	<i>IAE</i>	22,56	28,64
	<i>Max.Overshoot</i>	10%	18,80%
	<i>Settling Time</i>	13,42s	8,4s
	<i>pH</i>	9,01	9,002
<i>Tracking Turun</i>	<i>IAE</i>	8,2	12,3
	<i>Max.Overshoot</i>	2,6%	2,28%
	<i>Settling Time</i>	12,77s	32,48s
	<i>pH</i>	7,501	7,488
<i>Disturbance Naik</i>	<i>IAE</i>	23,4	23,47
	<i>Max.Overshoot</i>	27,60%	43,46%
	<i>Settling Time</i>	14,67s	33,4s
	<i>pH</i>	7,4998	7,511
<i>Disturbance Turun</i>	<i>IAE</i>	24,2	25,44
	<i>Max.Overshoot</i>	28,06%	39,94%
	<i>Settling Time</i>	14 s	17s
	<i>pH</i>	7,413	7,403

4.3 Pembahasan

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, pada simulasi untuk mencapai *set point* didapatkan penggunaan *Fuzzy-PID* lebih baik dibandingkan pengendali *PID* dengan *Integral Absolute Error (IAE)* yang dihasilkan sebesar 24,77 jauh di

bawah nilai *IAE* dari pengendali PID. *Settling time* yang didapatkan dari pengendali *Fuzzy-PID* juga lebih cepat dibandingkan pengendali PID yaitu sebesar 46,735 detik dan *maximum overshoot* pengendali *Fuzzy-PID* sebesar 28,06 %, lebih kecil daripada pengendali PID yaitu sebesar 40%. Nilai *pH* yang dihasilkan dari kedua pengendali yaitu 7,41 untuk *Fuzzy-PID* dan 7,4 untuk pengendali PID.

Dari hasil simulasi dengan *disturbance*, didapatkan pengendali *Fuzzy-PID* juga lebih baik dibandingkan pengendali PID yaitu dengan *settling time* 14 detik setelah diberi *disturbance* ,sedangkan pengendali PID didapatkan *settling time* 17s dan terus berosilasi. Untuk *IAE Fuzzy-PID* juga lebih kecil yaitu sebesar 24,2. Untuk *pH* yang dihasilkan yaitu sebesar 7,413 untuk pengendali *Fuzzy-PID* dan 7,403 untuk pengendali PID.

Dari hasil simulasi *tracking* naik dan turun, untuk simulasi *tracking* naik didapatkan pengendali *fuzzy-PID* yang lebih baik dibandingkan dengan PID, yaitu dengan *settling time* 12,77 detik dan *IAE* 8,2. Akan tetapi, pada *tracking* naik didapatkan *settling time* PID sebesar 8,2 detik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan proses simulasi yang telah dilakukan, maka dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Didapatkan pemodelan matematis untuk reaksi pencampuran H_2SO_4 dan NaOH berdasarkan reaksi invarian, dan telah didapatkan pemodelan statis dan dinamisnya. Pemodelan statis dan dinamis digunakan untuk proses yang terjadi pada CSTR.
- b. Didapatkan rancangan sistem pengendalian pH untuk plant CSTR dengan *Fuzzy*-PID dengan performa terbaik pada simulasi uji *set point* yang menghasilkan *Integral Absolute Error* sebesar 24,77, *settling time* 46,735 detik, dan pH sebesar 7,41 dengan *set point* yang ditentukan yaitu pH sebesar 7.5. Untuk pengujian *disturbance* didapatkan pengendali *Fuzzy*-PID yang lebih baik dengan *settling time* 14 detik dan *Integral Absolute Error* sebesar 24,2. Begitu juga untuk uji *tracking*, didapatkan pengendali *Fuzzy*-PID yang lebih baik

5.2 Saran

Saran yang didapatkan berdasarkan penelitian ini untuk penelitian selanjutnya adalah menggunakan pengendali jenis lain untuk bisa cepat, akurat, dan mampu mengolah banyak data larutan yang tercampur (tidak hanya dari satu senyawa asam) untuk bisa merancang sistem pengendali untuk reaksi pencampuran yang lebih *advance* dan akurat.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Cita and T.Ariadji, " Studi Sensitivitas Konsentrasi Larutan Methyl-diethanolamine Untuk Proses Penghilangan Gas Pengotor Hidrogen Sulfida dan Pengolahan Limbah Sulfur pada Lapangan Gas X," Undergraduate Theses, Dept. of Petroleum Engineering, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, 2010.
- [2] M. F. Haq, B. L. Widjiantoro, D. Arifianto, "Optimasi Penyerapan H_2S terhadap Perubahan Suhu Ambient dalam Amine Contactor dengan Metode Pemrograman Non Linear pada Industri," J.TEKNIK POMITS.vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2012.
- [3] R. Raditya and H.Cordova, "Perancangan Sistem Pengendalian pH antara Reaksi H_2S dan NaOH pada Caustic Scrubber dengan menggunakan Metode Fuzzy Logic," Undergraduate Theses, Dept. of Engineering Physics, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2017.
- [4] Honeywell, " Sulfur Tail Gas Thermal Oxidizer Systems," 2017, Available: <http://refiningcommunity.com/wp-content/uploads/2017/07/Sulfur-Tail-Gas-Thermal-Oxidizer-Systems-Pickard-Callidus-Technologies-SRU-League-City-2010.pdf>
- [5] Wiharja, "Identifikasi Kualitas Gas SO_2 di Daerah Industri Pengecoran Logam Ceper", J. Teknologi Lingkungan. vol.3, No.3, pp. 251–255, 2002.

- [6] P.Dina,"Upaya Penurunan Emisi SO₂ Dari Hasil Pembakaran Batubara Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Dengan Menggunakan Flue Gas Desulfurization (FGD) Tipe Basah," Pros. SNATIF Ke-4 2017
- [7] T.J.Ross.*Fuzzy Logic With Engineering Applications*.2nd ed.John Wiley and Sons, 2004.
- [8] Chang, Raymond. *Chemistry*, 10th ed.Mc-Graw-Hill,2010.
- [9] W. Oxtoby,David ,Gilis, and H.P ,Campion, Alan, *Principles of Modern Chemsitry*, 7th ed. USA: Brooks/Cole, 2012.
- [10] Ogata, Katsuhiko. *Modern Control Engineering*, 5th ed. Prentice Hall,2010.
- [11] R. C. Dorf and R. H. Bishop, *Modern Control Systems*. 12th ed. Prentice Hall,2010.
- [12] S. Rizal and H. Cordova, "Perancangan Sistem Kontrol pH Berbasis Sintesa Reaksi Invarian dengan menggunakan Logika Fuzzy pada Studi Kasus Titrasi," Undergraduate Theses, Dept. of Engineering Physics, Institut Teknologi Sepuluh Nopember,Surabaya, Indonesia, 2008.
- [13] Fihir and H. Cordova, "Perancangan PID Sebagai Pengendali pH Pada Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)," Undergraduate Theses, Dept. of Engineering Physics, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2010.

- [14] D. Mussatti and P. Hemmer, "Particulate Matter Controls - Wet Scrubbers for Particulate Matter (EPA-452/B-02-001)," *United state Environ. Prot. Agency*, p. 62, 2002.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

LAMPIRAN A. DATA PLANT

	Data Input CSTR
Wa1	-0,0127
Wa2	-0,1
Wb1	0,01657
Wb2	0
Flow	19,64 L/s
Volume	1000 L

LAMPIRAN B. PEMODELAN STATIK DAN DINAMIK

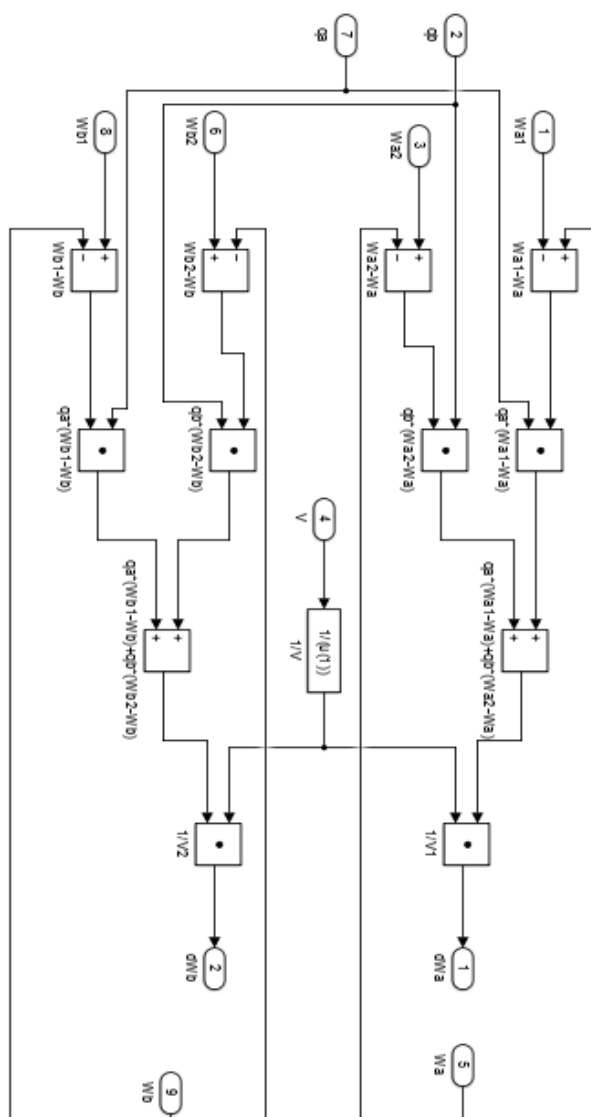
B1.PROGRAM PEMODELAN STATIK

```

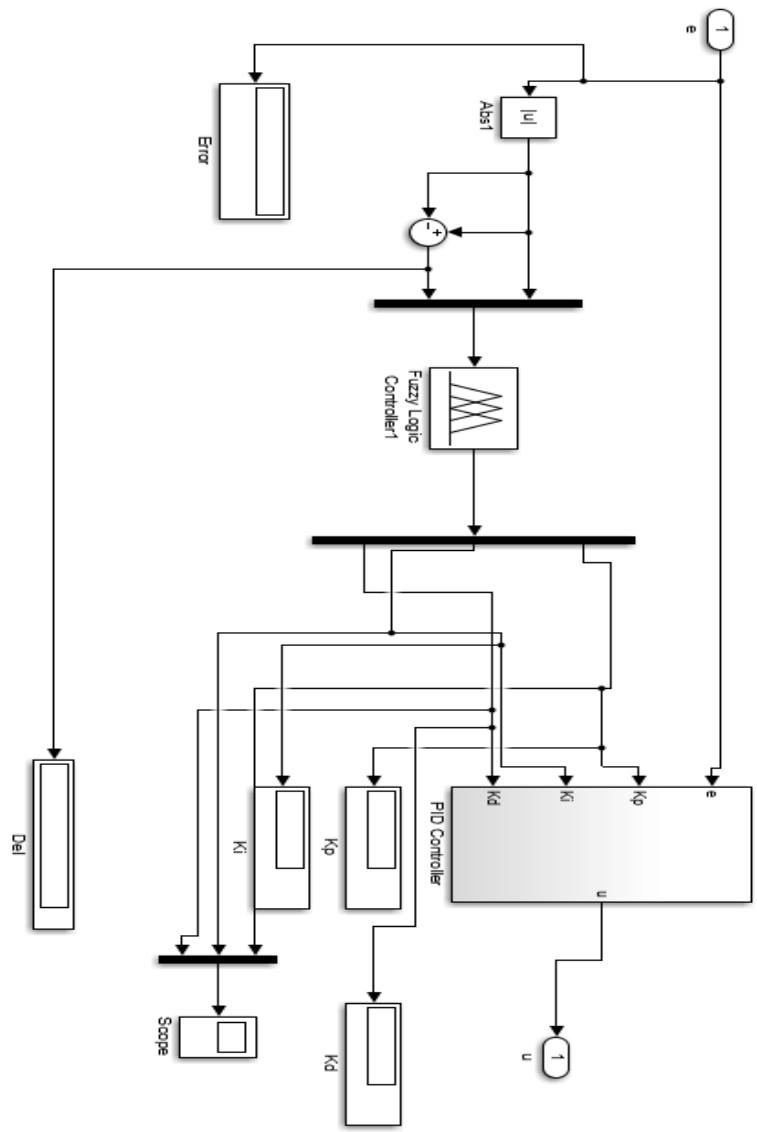
function funcout = statikH2SO4(pinput)
y1=pinput(:);
xa=y1(1,:);
xb=y1(2,:);
ka1=1.1e-7;
ka2=1e-14;
kw=1e-14;
a1=1;
a2=(ka1-xa);
a3=(ka1*ka2)-(ka1*xa)-(ka1*xb)-kw;
a4=(-ka1*ka2*xa)-(2*ka1*ka2*xb)-(kw*ka1)-(ka1*ka2*kw);
p=[a1 a2 a3 a4];
r=roots(p);
for i=1:3
    if r(i,1)>0
        H=r(i,1);
    end
end
pH= -log10(H);
funcout=pH;

```

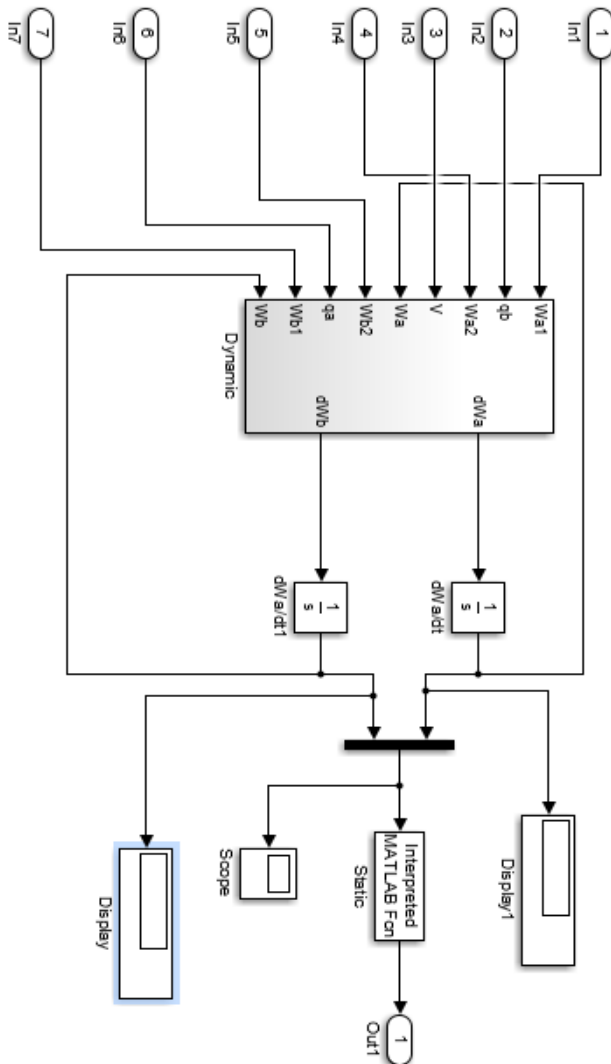
B2.PEMODELAN DINAMIK



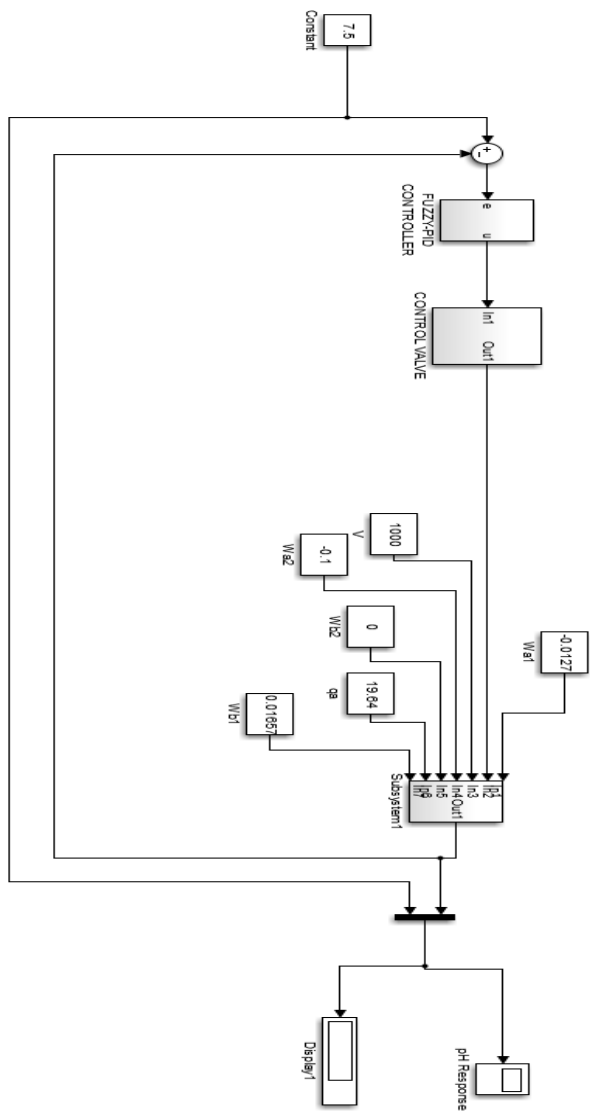
B3.SUSUNAN BLOK FUZZY-PID PADA SIMULINK



B4.SUSUNAN BLOK OPEN LOOP PADA SIMULINK



B5.SUSUNAN BLOK CLOSED LOOP PADA SIMULINK



**B6.DATA UNTUK KESETIMBANGAN MASSA PADA
SCRUBBER**

L	1,088346
V	0,36
Y1	0,022
Y2	0,001
Persentase SO2	2,2
SO2 Out	0,11

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Zarwan Zuhdi, lahir di Medan, 9 Desember 1996. Penulis merupakan anak sulung dari tiga bersaudara. Penulis pernah menamatkan pendidikan di MIN Tapaktuan (2002-2008), SMPN 1 Tapaktuan (2008-2011), dan SMAN Modal Bangsa provinsi Aceh (2011-2014), lalu melanjutkan studi di Departemen Teknik Fisika FTI-ITS. Penulis pernah aktif di Laboratorium Energi dan Pengkondisian Lingkungan, dan organisasi perkumpulan mahasiswa Aceh yang bernama PMKTR. Bagi pembaca yang memiliki kritik dan saran yang membangun, atau ingin berdiskusi mengenai tugas akhir ini bisa menghubungi penulis melalui *email:zarwan_zuhdi@yahoo.com*